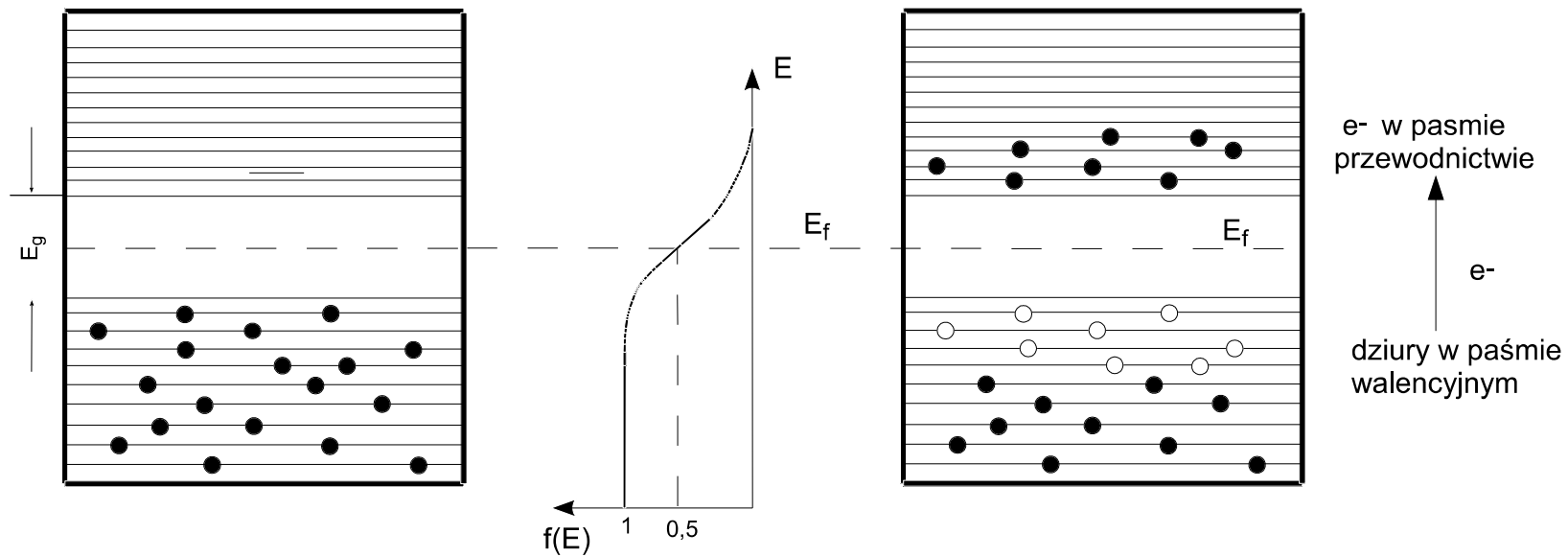
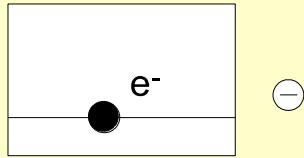


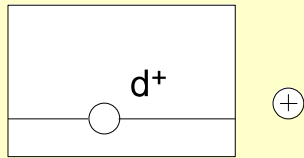
Półprzewodniki

Półprzewodniki samoistne





elektron-dziura

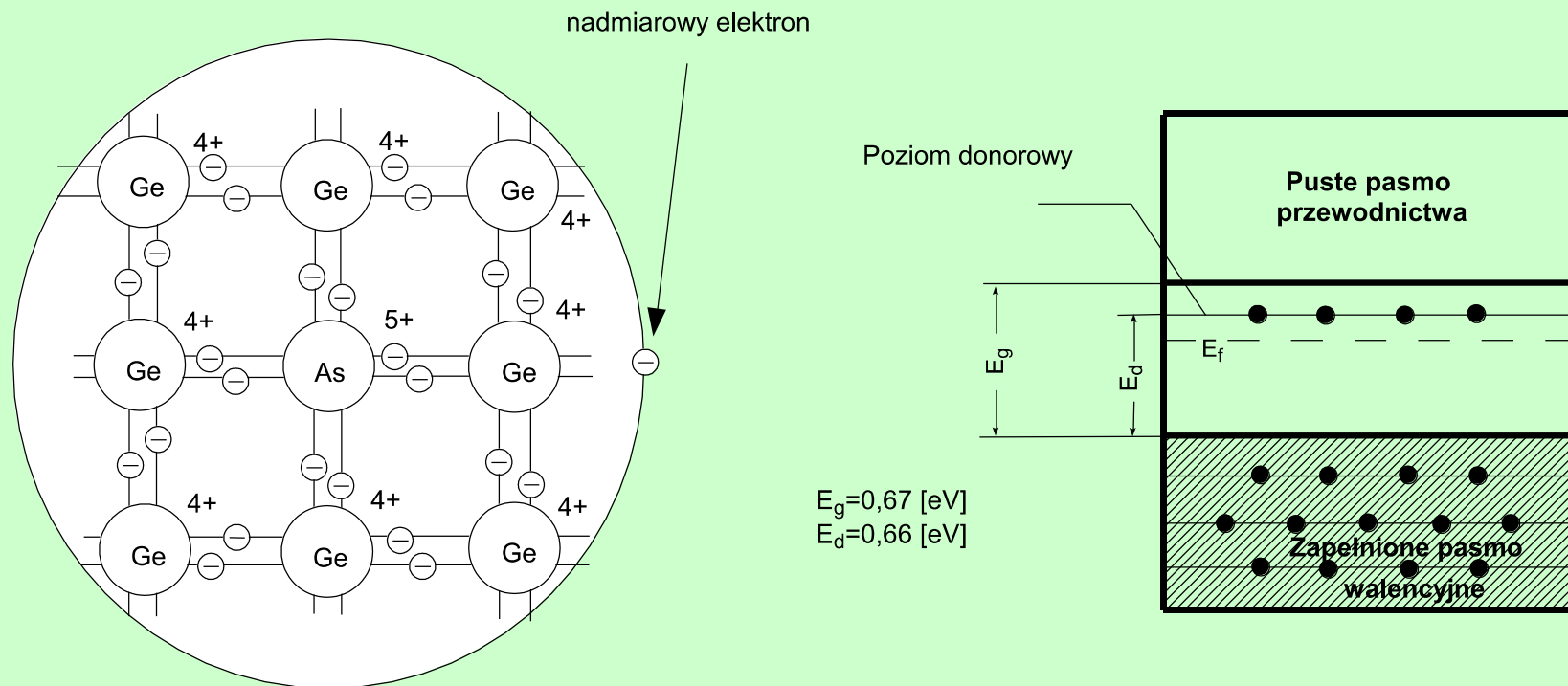


Prawdopodobieństwo wzbudzenia e^- do pasma przewodnictwa:

$$p_{wzb} \propto e^{-\frac{E_g}{k_B T}}$$

Półprzewodniki domieszkowane

Półprzewodniki typu n



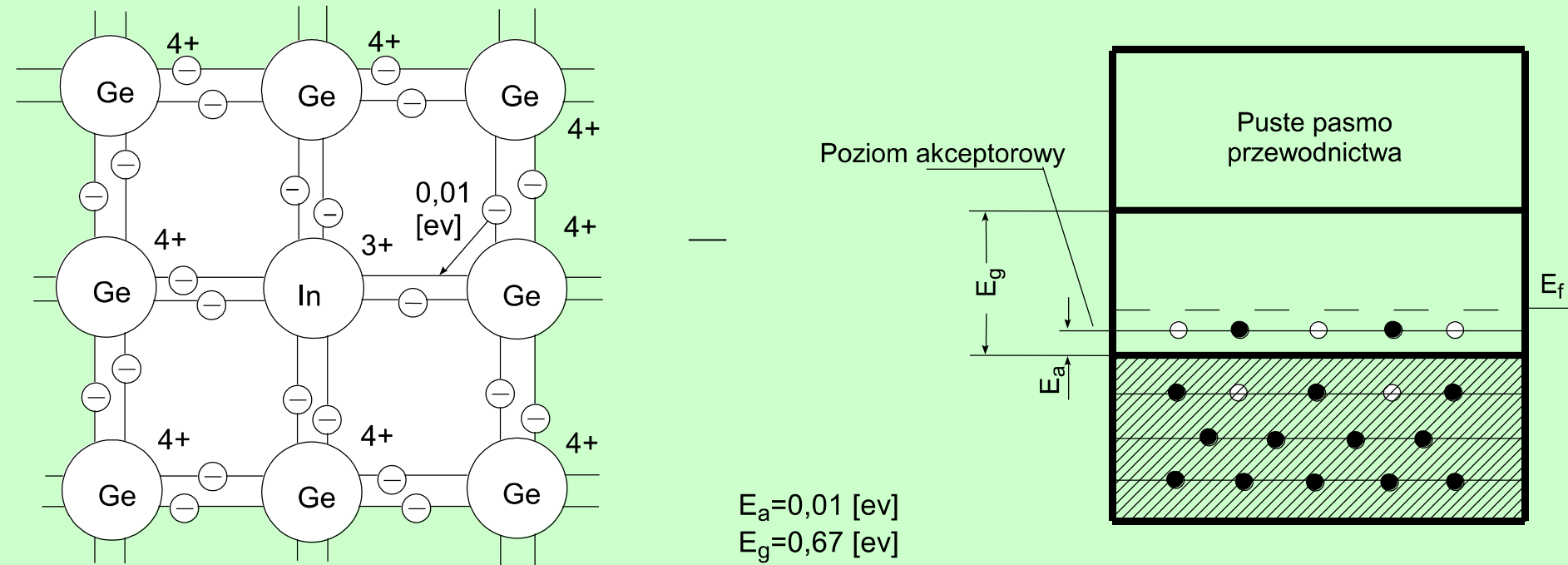
Atom As dostarcza jednego e^- , którego poziom znajdzie się tuż poniżej pasma przewodnictwa.

Elektrony z poziomów donorowych łatwo zostaną wzbudzone do pasma przewodnictwa.

Przewodnictwo elektryczne uwarunkowane jest zatem tylko ruchem elektronów w paśmie przewodnictwa.

IA												IIA												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA																																						
1	H											3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																														
11	Na	12	Mg	IIIB		IVB	VB		VIB		VIIB		VIII				IB		IIB		13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																																			
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																																
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe																																
55	Cs	56	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn																																
87	Fr	88	Ra	89	Ac																																																														
				58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu																																				
				90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr																																				
																																	metale proste					półmetale					metale przejściowe					izolatory					magnetyczne metale przejściowe					ziemie rzadkie i lantanowce					półprzewodniki				

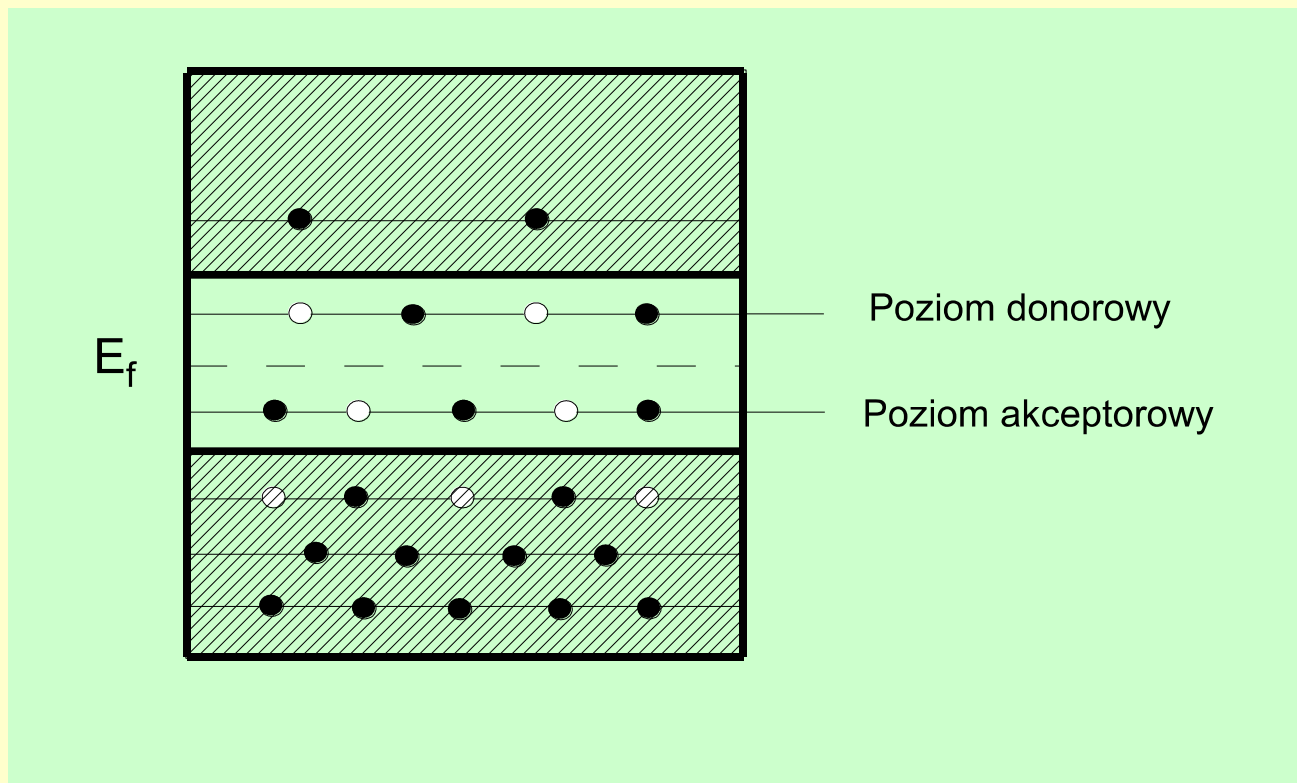
Półprzewodnik typu p



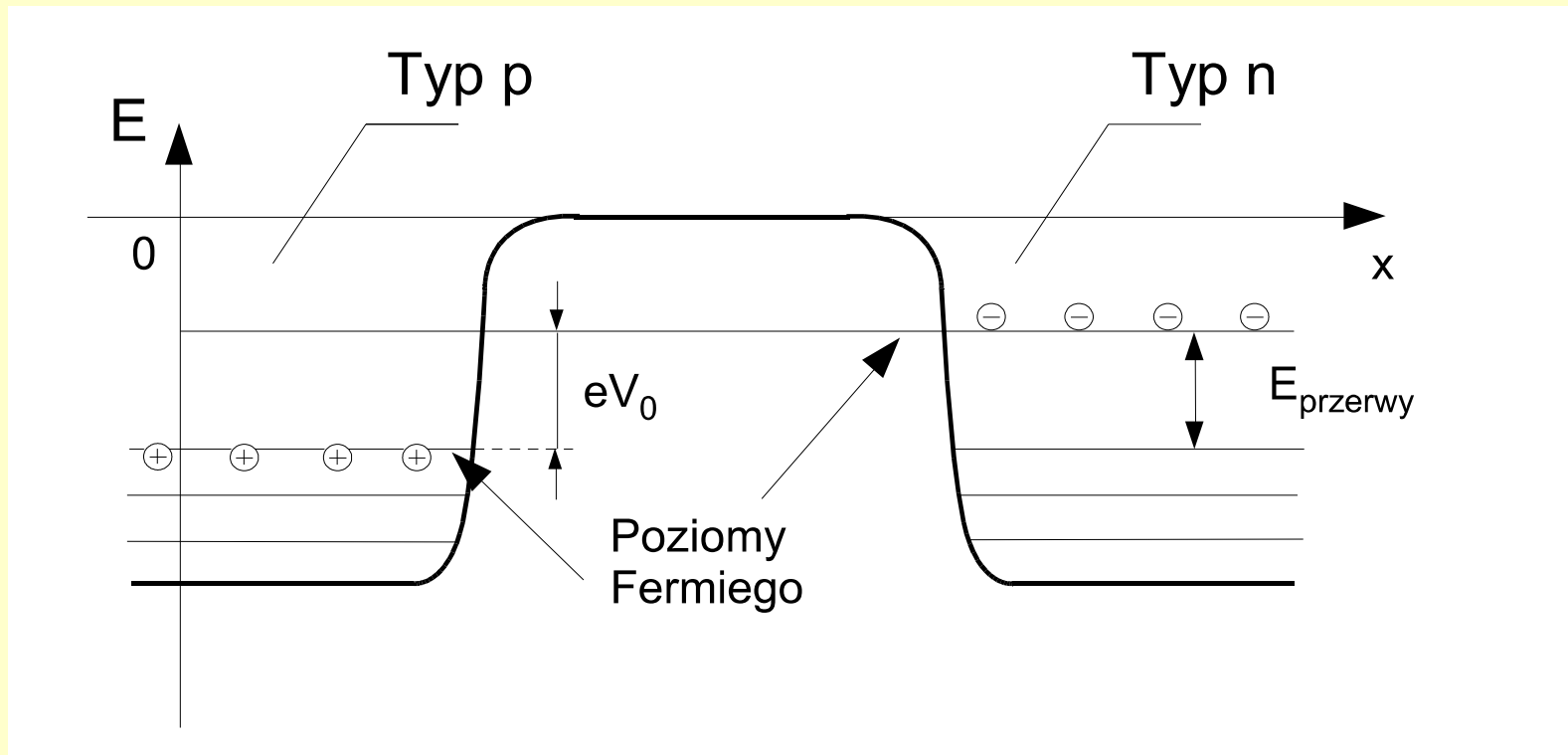
Atom In nie może tworzyć kompletnego wiązania z Ge (brakuje mu jednego e^-). Brakujący e^- „pożyczony” jest od atomu Ge. W efekcie w paśmie walencyjnym powstaje dziura (d^+), a w pasmie wzbronionym – dodatkowy poziom energetyczny z „pożyczonym” e^- (poziom akceptorowy)

Przewodnictwo elektronów półprzewodnika typu *p* jest uwarunkowane tylko ruchem dziur w paśmie walencyjnym.

Półprzewodniki typu mieszanego

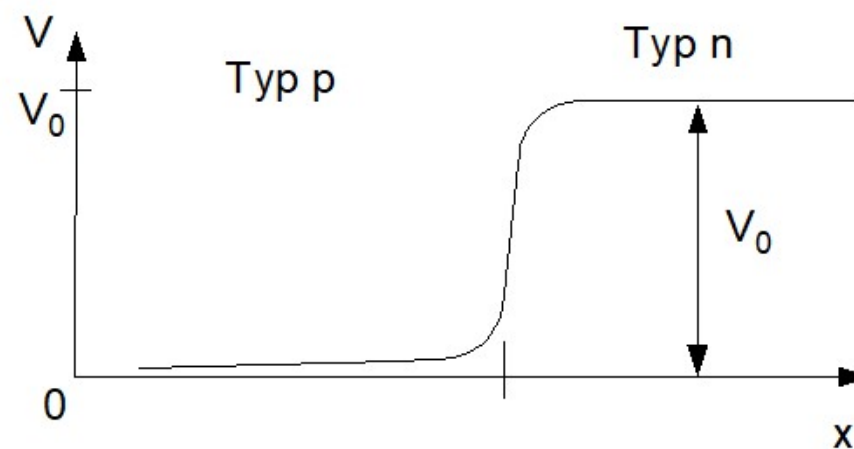


Złącze p-n



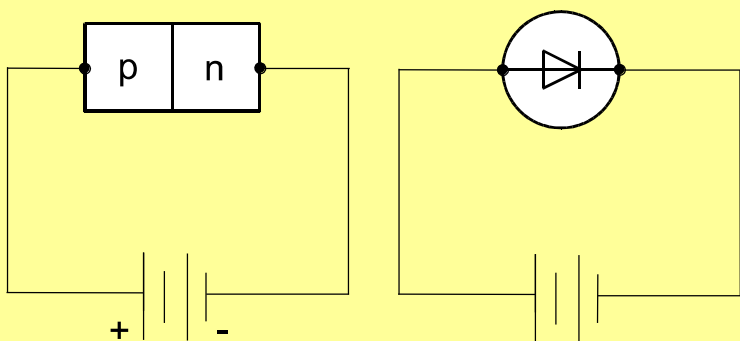
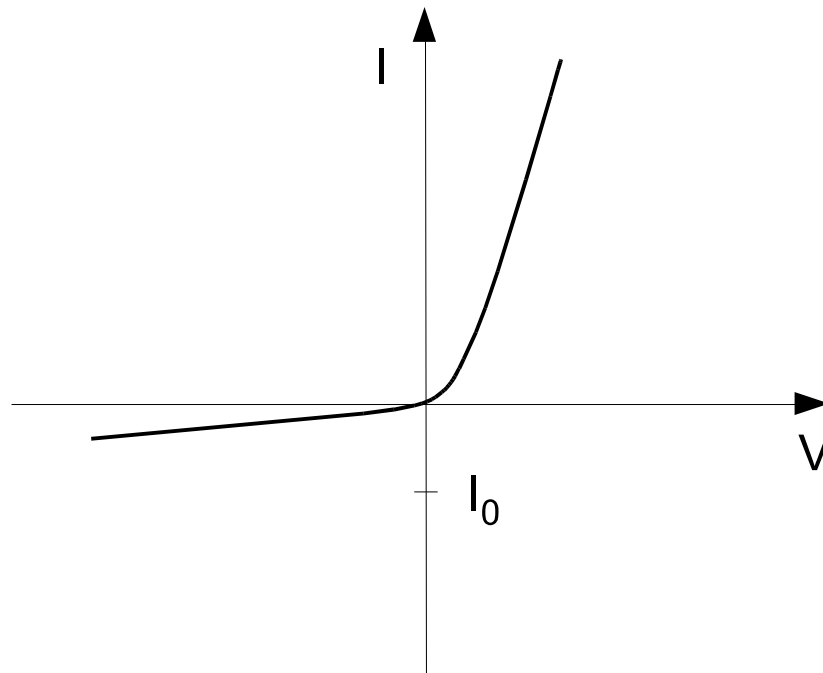
Przepływ nośników będzie zachodził aż nie wyrównają się poziomy Fermiego. Wskutek tego obszar typu p zostanie naładowany ujemnie dodatkowymi elektronami, a obszar typu n będzie naładowany dodatnio

Powstaje kontaktowa różnica
potencjałów V_0 , równa
pierwotnej różnicy potencjałów
Fermiego, której wartość \approx
 E_{przerwy}



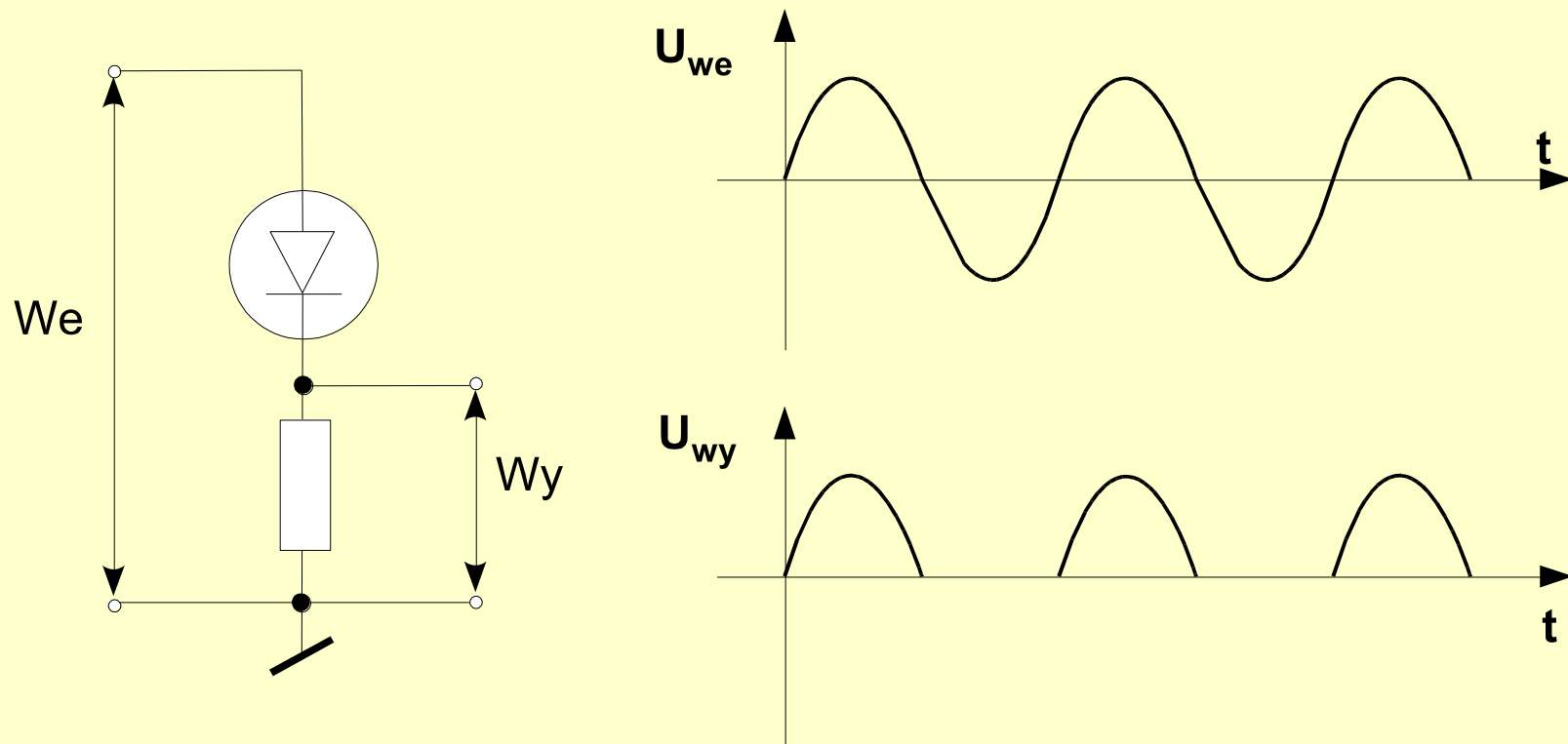
Prąd w złączu (p-n):

$$I = I_0 \left(\exp \left[\frac{eV}{kT} \right] - 1 \right)$$

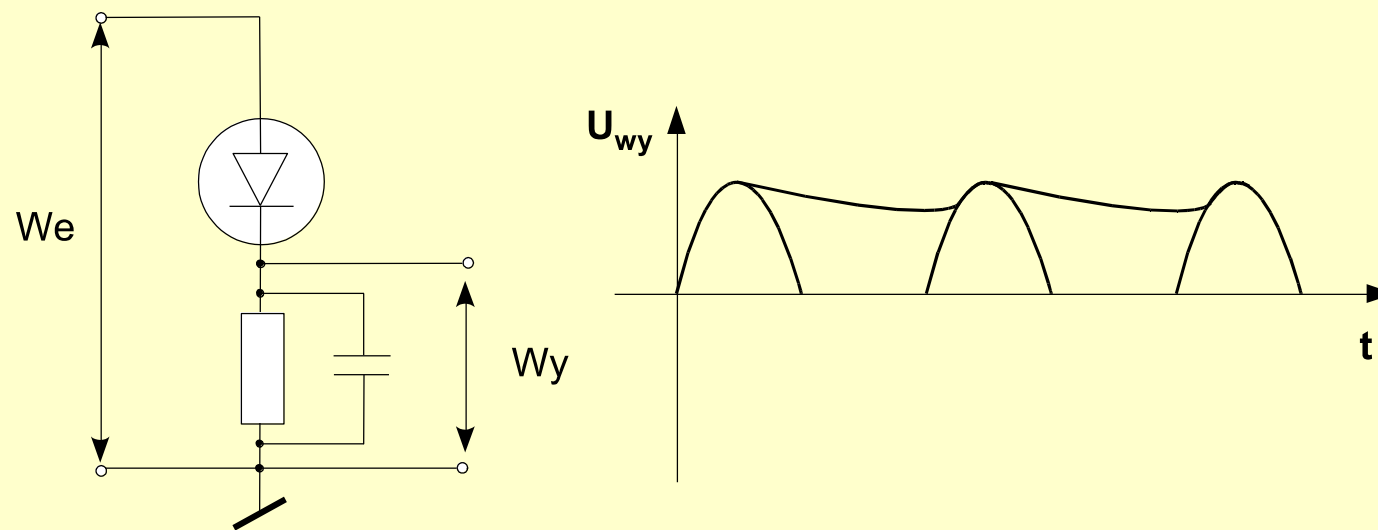


Dioda n-p działa jak prostownik !

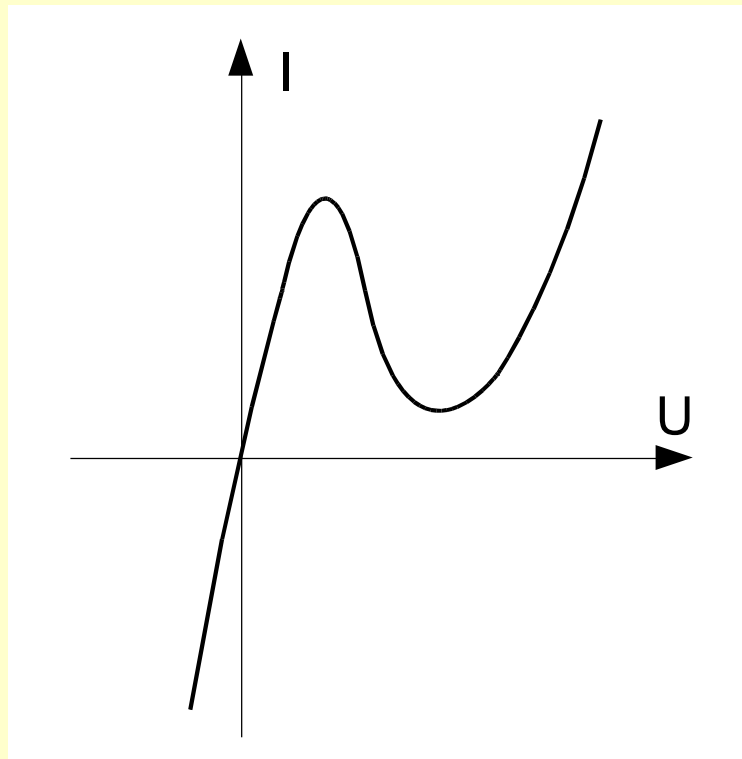
Zastosowanie diody: prostownik



Wygładzenie przebiegu prądu po prostowaniu:

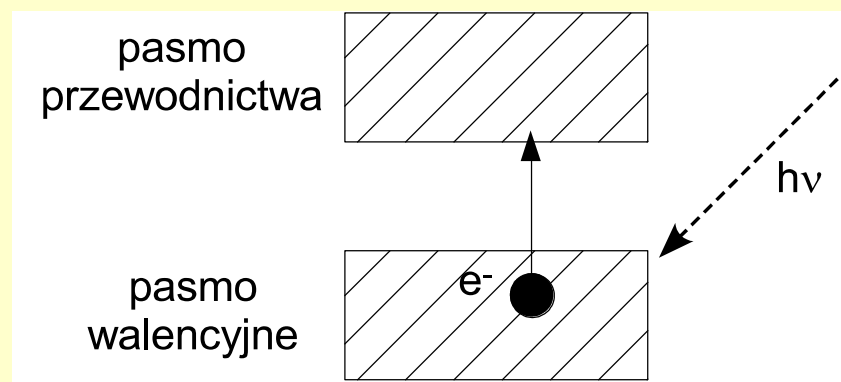
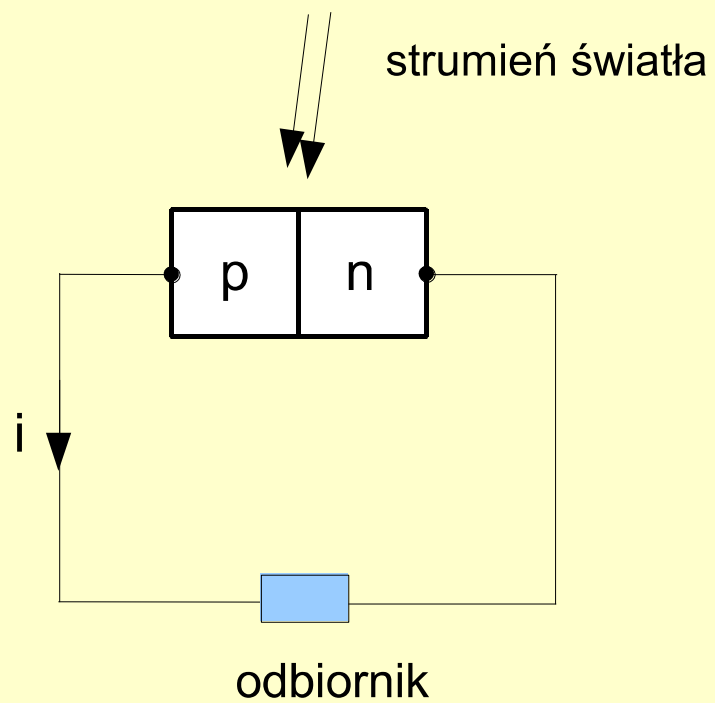


Dioda tunelowa



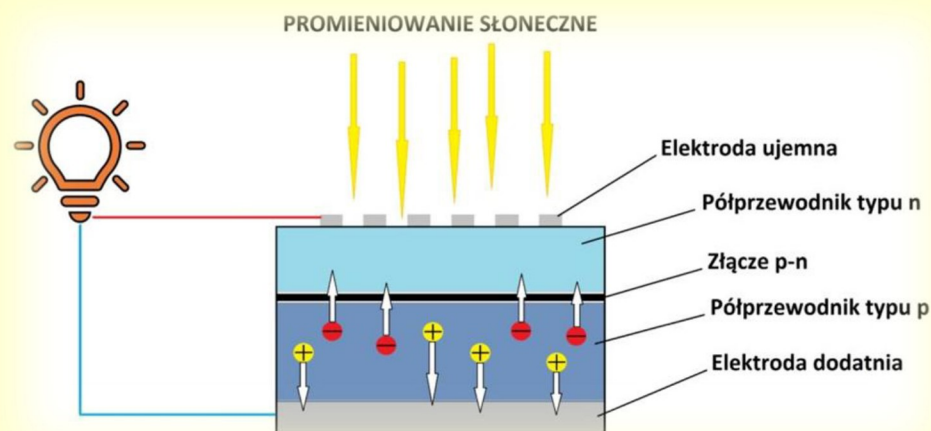
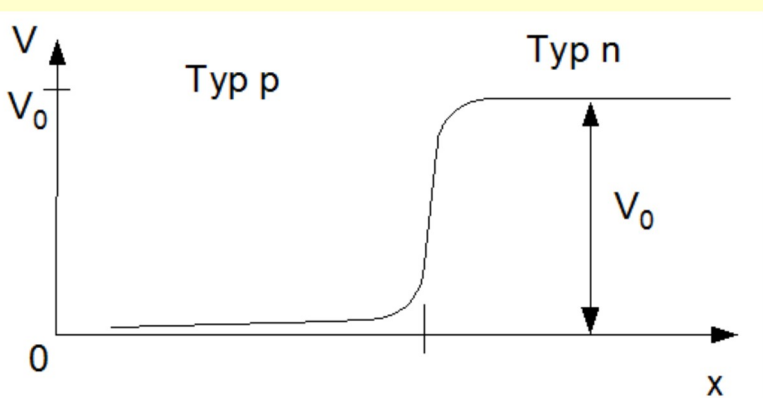
Interesujący i ważny dla zastosowań (np. w automatyce) jest zakres ujemnej oporności.

Baterie słoneczne



Jeśli złącze *p-n* oświetlimy, to elektrony z pasma walencyjnego, będą wzbudzone do pasma przewodnictwa (powstaną pary: e^- , dziura).

Pole elektryczne wewnątrz półprzewodnika, związane z obecnością złącza *p-n*, przesuwa nośniki różnych rodzajów w różne strony. Elektrony trafiają do obszaru *n*, dziury do obszaru *p*. Rozdzielenie nośników ładunku w złączu powoduje powstanie na nim zewnętrznego napięcia elektrycznego.

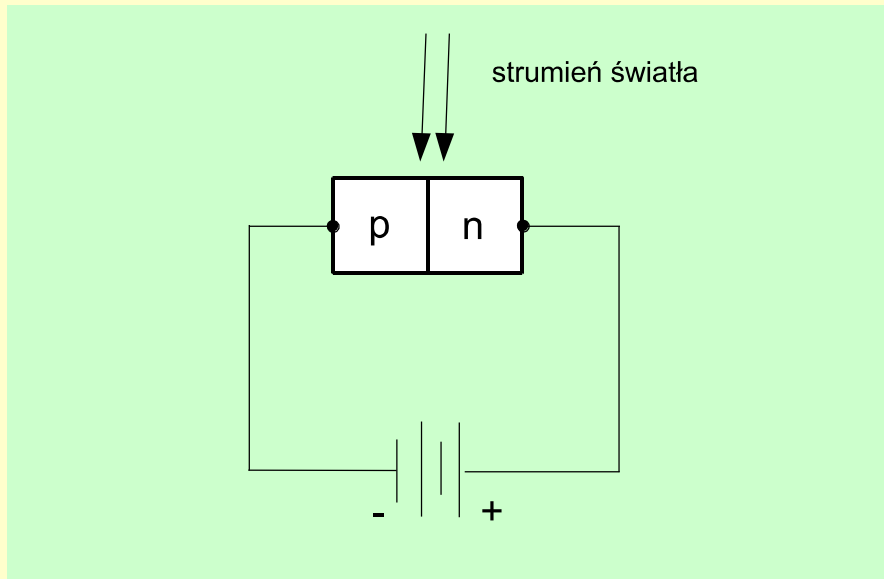


Mamy zamianę światła na moc elektryczną.

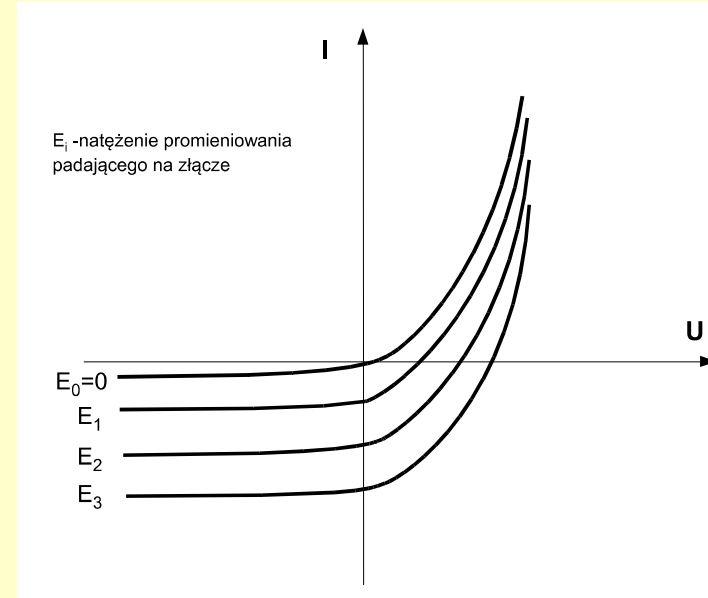
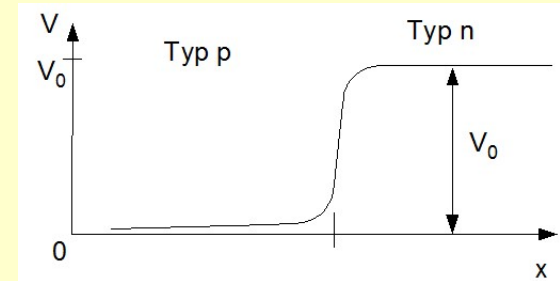
Krzemowa bateria daje napięcie: 0,5 V, zaś sprawność przetwarzania: 15%.

Fotodiody

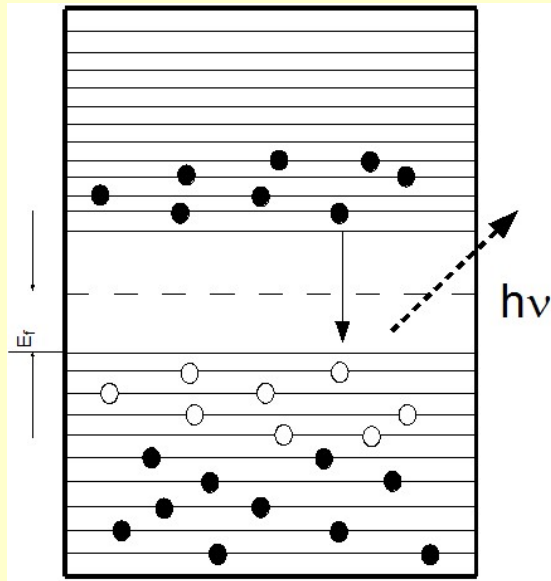
Jeśli baterię słoneczną spolaryzujemy zaporowo, wówczas małe natężenie prądu I_0 wzrośnie wielokrotnie, jeśli wskutek oświetlania będą wytwarzane dodatkowe nośniki prądu → prąd gwałtownie wzrośnie wskutek oświetlenia strumieniem światła.



Jest to wykorzystywane w fotokomórkach.



Diody wysyłające światło

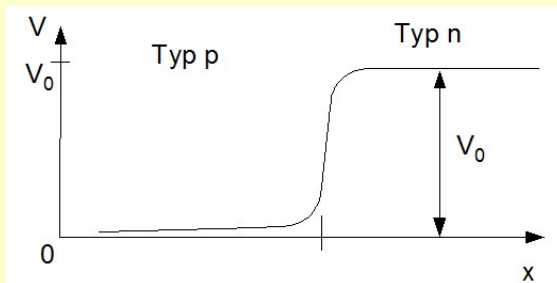
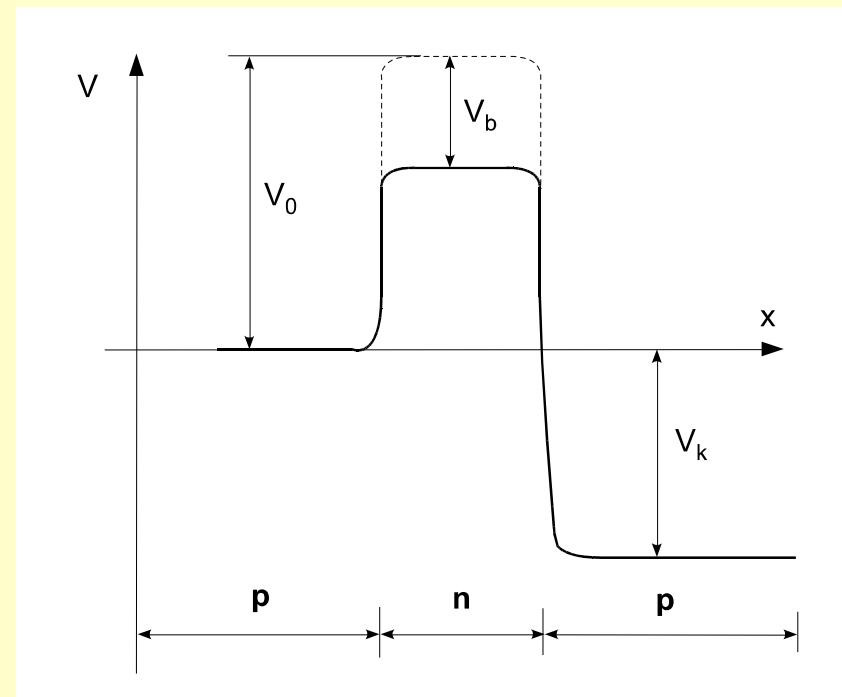
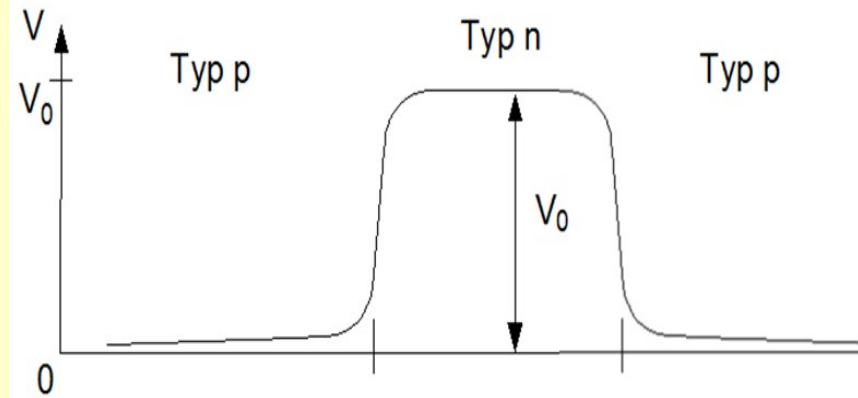
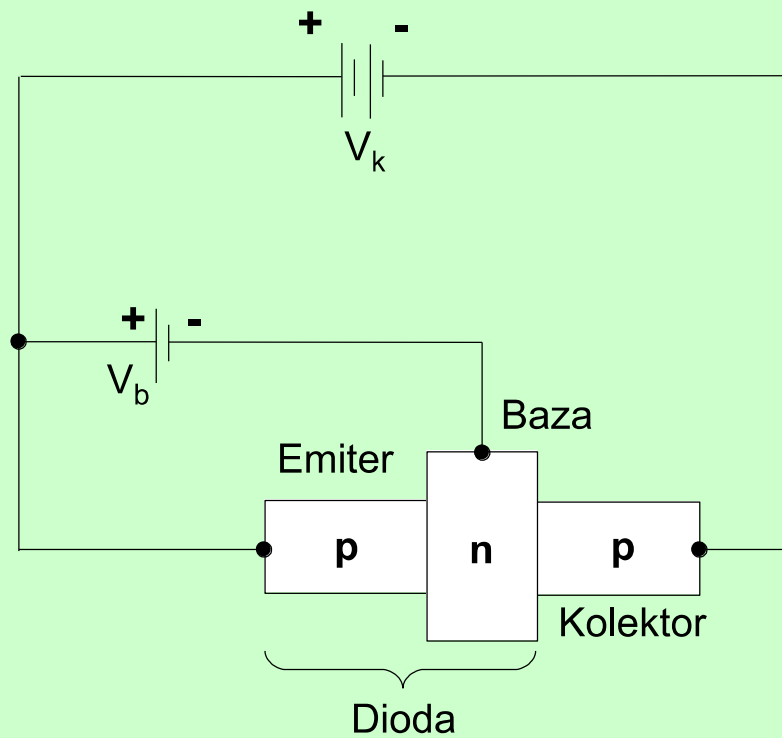


Dioda zasilana w kierunku przewodzenia napięciem na tyle dużym, że elektrony przewodnictwa w trakcie zderzeń wytwarzają pary $e^- \leftrightarrow d^+$

Każdy akt rekombinacji → wysyłane fotony (GeAs → światło czerwone).
Wydajność zamiany energii elektronu na światło widzialne = 100% (podobnie działa laser na ciele stałym).

Wskaźniki cyfrowe w kalkulatorach, sygnalizatory w urządzeniach → diody emitujące światło (LED: Light Emission Diodes).

Tranzystor

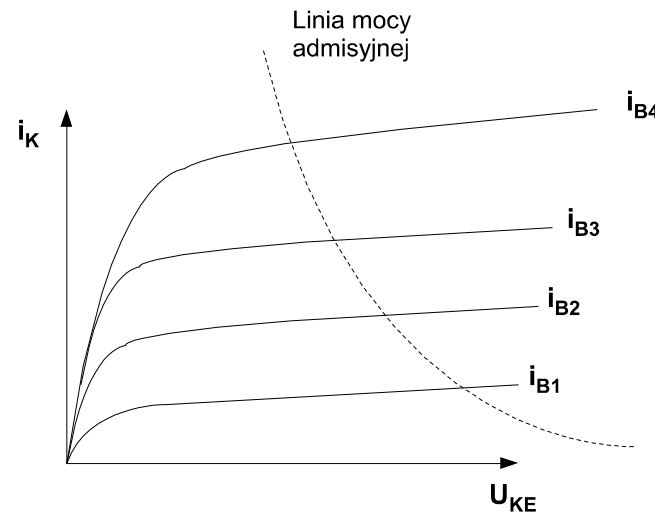
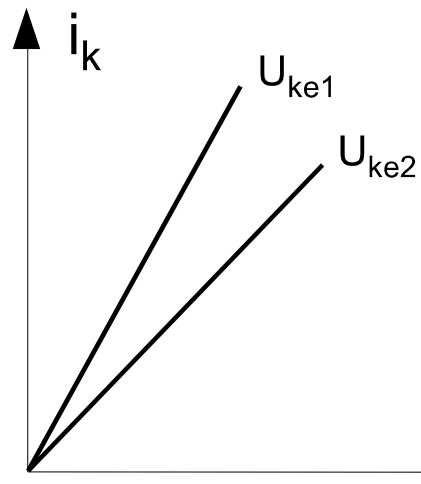
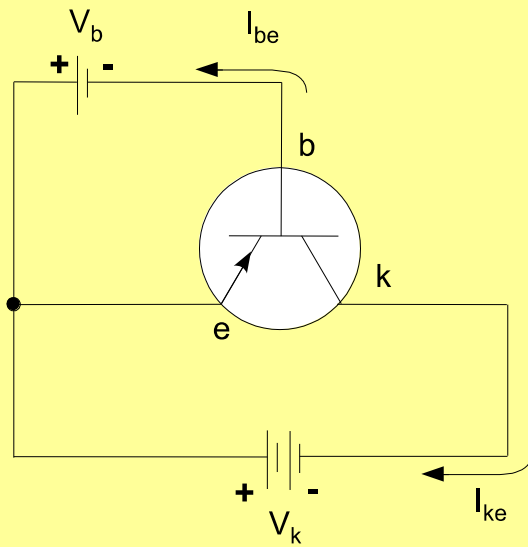


Tranzystor jako wzmacniacz

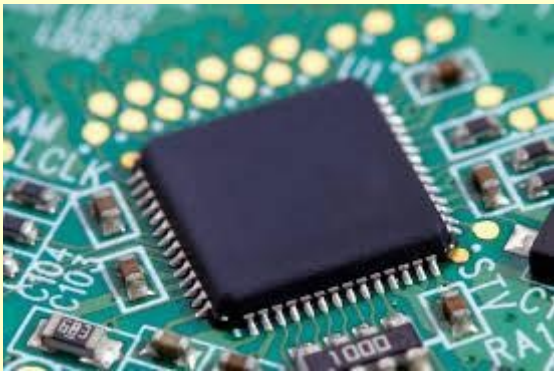
Współczynnik wzmocnienia prądowego β :

$$\beta = \frac{I_k}{I_b}$$

Typowo, jego wartość wynosi około 100.



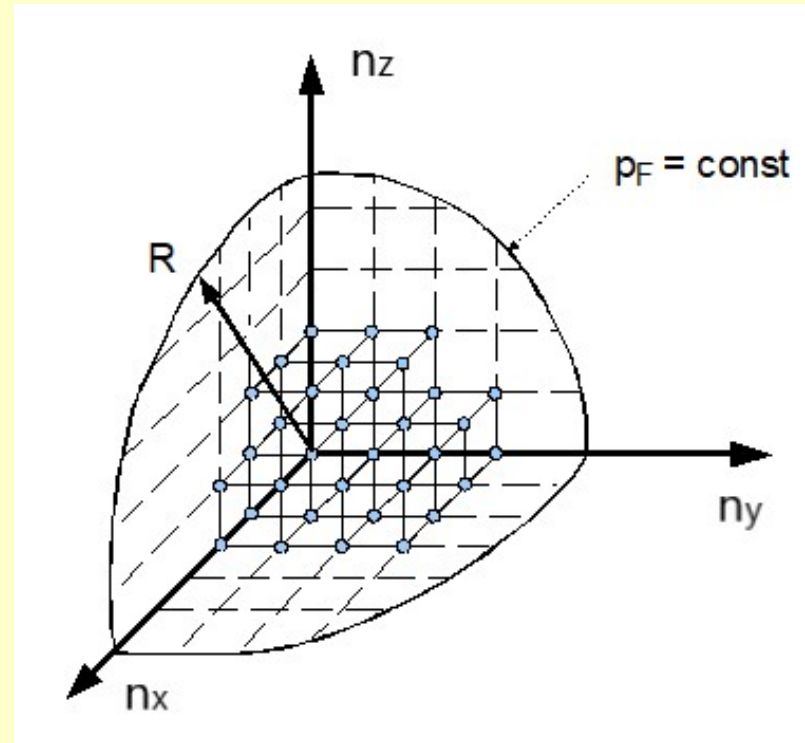
Elektronika o wysokim stopniu integracji – **układy scalone**



DODATEK – wyliczenie energii Fermiego

$$p_F = p_{x_F} = n_{x(F)} \frac{h}{2l}$$

$$n_{x(F)} = \frac{2lp_F}{h}$$



Promień sfery Fermiego wynosi:

$$R = n_{x(F)}$$

$$R = \frac{2lp_F}{h}$$

Całkowita liczba stanów zajętych:

$$\frac{N}{2} = \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{1}{6} \pi \left(\frac{2l}{h} p_F \right)^3$$

bo: $\left(R = \frac{2lp_F}{h} \right)$

$$N = \frac{8\pi l^3 p_F^3}{3h^3}$$

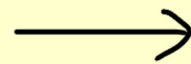
$$N = \frac{8\pi V p_F^3}{3h^3}$$

Koncentracja elektronów:

$$n' = \frac{N}{V}$$

$$n' = \frac{8\pi p_F^3}{3h^3}$$

$$p_F = \left(\frac{3h^3}{8\pi} n' \right)^{\frac{1}{3}}$$



$$p_F = \frac{h}{2} \left(\frac{3}{\pi} n' \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$E_k = \frac{p_F^2}{2m}$$

$$p_F = \frac{h}{2} \left(\frac{3}{\pi} n' \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$E_{k(F)} = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3}{\pi} n' \right)^{\frac{2}{3}}$$